

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Выпускная квалификационная работа

по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отрас-
лям).

профилю подготовки Металлургия

специализации Технология и менеджмент в металлургических производствах

Идентификационный код ВКР: 012

Екатеринбург 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Институт Инженерно педагогического образования
Кафедра Металлургии, сварочного производства и методики
профессионального обучения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:
Зав. кафедрой МСП
Б. Н. Гузанов
« » 20 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Исполнитель:

Обучающийся(ая) группы № МП-402 Рудаков С.В.
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель Ведерников М. В.
(подпись) (Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультант методического
раздела Бекетова Ю. А. к.п.н., до-
цент (подпись) (Ф.И.О., ученая степень, звание)

Нормоконтролер Категоренко Ю. И. к.т.н., до-
цент (подпись) (Ф.И.О., ученая степень, звание)

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 61 страницах, содержит 5 рисунка, 10 таблиц, 10 источников литературы.

Ключевые слова ПЕНОПОЛИСТИРОЛ, ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ, ОБЪЕМ

Цель работы – Исследование параметров литья по выжигаемым моделям таких, как температура плавления и деструкции, скорость плавления и объем выделяемых газов.

Основные задачи:

1. Провести исследование температуры плавления и деструкции пенополистирола марки ПС-Б-25
2. Провести исследование скорости плавления пенополистирола
3. Разработать методику выполнения лабораторной работы по исследованию объема выделяемых газов при деструкции пенополистирола

					44.03.04.012ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование параметров изготовления отливок из алюминиевых сплавов по выжигаемым моделям	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Рудаков С. В.						
Провер.		Ведерников М. В.					3	61
Реценз.						ФГАОУ ВО РГППУ ИИПО каф. МСП Гр, МП-402		
Н. Контр.		Категоренко Ю.И						
Утверд.		Гузанов Б.Н.						

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ	5
1. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ (ЛГМ).....	6
1.1 Недостатки ЛГМ.....	21
1.2 Материалы (производство пенополистирола, химическая формула). 29	
1.2.1 Получение полистирола	29
1.2.2 Технология: процесс изготовления пенополистирола.....	33
1.2.3 Модели ЛГМ. Изготовление моделей ЛГМ.....	36
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	42
2.1 Определение температуры плавления и температуры деструкции.....	42
2.2 Определение скорости плавления пенополистирола.....	47
3. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ, РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

ВЕДЕНИЕ

Литье по газифицируемым моделям является одним из новейших способов производства отливок.

Технология литья по газифицируемым моделям имеет ряд существенных преимуществ перед другими способами, являющихся традиционными.

Целью данной дипломной работы является исследование таких не мало важных параметров, для литья по газифицируемым моделям, как, температура плавления и температура деструкции пенополистироловых моделей и скорость плавления пенополистирола. Так же задачей дипломного проекта является разработка методики выполнения лабораторной работы по исследованию объема выделяемых газов.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ (ЛГМ)

Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) является одним из новых способов производства отливок, появившихся в результате научно-технической революции во второй половине XX в. наряду с такими технологическими процессами, как вакуум-пленочная формовка, непрерывное литье, литье под низким давлением, импульсная формовка и др. Однако наибольший интерес у литейщиков вызвало сообщение о способе литья по моделям, которые не удаляются из формы, а остаются в ней и газифицируются под действием тепловой энергии металла, поступающего в форму. Такая технология, названная литьем по газифицируемым моделям, решила важнейшую задачу литейного производства — повышение точности отливок до уровня литья по выплавляемым моделям при издержках производства литья в песчано-глинистые формы.

Но прежде чем ЛГМ-процесс стал промышленной технологией, был сделан значительный объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в результате которых были созданы специальные модельные материалы и противопопригарные покрытия, технология и оборудование для изготовления моделей, инженерная методика проектирования технологического процесса, оборудование для изготовления форм и т.д.

Основоположителем ЛГМ был американский архитектор Г. Шроер, который в 1956 г. применил модели из пенополистирола для получения художественной отливки. В 1958 г. он получил патент США на способ Cavityls Castings Mold and Method for Making Same. В том же году архитектор А. Дука в лаборатории Массачусетского технологического института получил первую художественную отливку из бронзы скульптуры «Пегас» массой 150 кг. В 1961 г. английский архитектор Кларк применил данный способ для получения отливки чугунной мачты массой 3500 кг для колокола. Однако промышленное применение ЛГМ-процесса началось только спустя четыре года после его изобретения.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В развитии ЛГМ-процесса можно условно выделить четыре периода. Первый период охватывает 1958-1970 гг. и характеризуется внедрением данной технологии для производства единичных отливок массой от нескольких килограмм до более массивных отливок. Первая промышленная отливка массой 12 т была получена в Германии в 1962 г. Спустя год для фирмы «Ford Motors Co» были отлиты две заготовки для штампов массой 6750 и 2700 кг. К концу 1964 г. в 10 литейных цехах различных фирм США применялся ЛГМ-процесс для производства единичных отливок. Активные работы по внедрению ЛГМ проводились в ФРГ группой специалистов, возглавляемой проф. А. Виттмозером, которая в 1958 г. приобрела права на патент Шроера. В 1965 г. в таких промышленно развитых странах, как США, Англия, ФРГ, Франция и Япония, было произведено более 40 тыс. т отливок, причем только в США данный способ литья для производства отливок из черных сплавов применяли 35 литейных цехов. В 1963 г. на Международной выставке в Дюссельдорфе экспонаты по ЛГМ-процессу были широко представлены различными фирмами. В 1967 г. создается Международная ассоциация литья по газифицируемым моделям, которая объединила 150 фирм с общим выпуском отливок 800 т в сутки. Быстрое распространение ЛГМ для производства единичных отливок из черных сплавов стало возможным благодаря явным преимуществам данного способа по сравнению с литьем по извлекаемым моделям. Главными из этих преимуществ являются: снижение трудоемкости и стоимости изготовления моделей, увеличение точности отливок и снижение их массы, уменьшение трудоемкости изготовления форм и значительное сокращение цикла изготовления литых заготовок, начиная с разработки технологии и заканчивая получением отливки.

Наряду с расширением производства единичных отливок многие научные центры различных фирм проводили интенсивные работы по применению ЛГМ в серийном производстве, чему способствовало опубликование в 1960 г. патента Х. Неллина о применении песка без связующего для изготовления формы. По данному патенту модель из пенополистирола помещается в кон-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

тейнер, засыпается сухим песком или другим сыпучим огнеупорным материалом, и форма уплотняется вибрацией, после чего она заливается металлом. Однако применение данного способа для получения отливок сложной конфигурации приводило к браку из-за обвала формы. Поэтому исследования были направлены на изыскание способа упрочнения формы из несвязанных сыпучих материалов. Так, в 1966 г. был опубликован патент Гофмана на способ получения отливок по газифицируемым моделям в магнитной форме. На 35-м Всемирном конгрессе литейщиков проф. А. Виттмозер впервые сделал доклад о магнитной формовке. При данном способе изготовления формы применяется металлический ферромагнитный песок или дробь размером 0,3-0,5 мм. После уплотнения формы вибрацией она помещается в постоянное магнитное поле, которое обеспечивает магнитную связь между частицами наполнителя, что придает форме необходимую прочность, предотвращая ее разрушение при заливке металла. Магнитная формовка получила применение в США, Японии и в странах Западной Европы для производства серийных отливок из различных сплавов. В 1970 г. в разных странах работало более 10 полуавтоматических установок магнитной формовки. Швейцарская фирма «Brown Boveri» организовала серийное производство полуавтоматических установок магнитной формовки. В Бельгии одна из фирм применяла магнитную формовку для отливки стальной цепи из 40 тыс. звеньев, в Англии другая фирма получала тормозные колодки для железнодорожного транспорта, в ФРГ изготавливались магнитной формовкой тройники из серого чугуна массой до 20 кг и муфты из высокопрочного чугуна, в Нидерландах — сложные тонкостенные отливки из чугуна. В Японии работала линия магнитной формовки производительностью двадцать форм в час при металлоемкости одной формы до 70 кг. Однако магнитная формовка не получила должного применения, т. к. использование дорогостоящего металлического песка (дроби) сводило на нет экономические преимущества ЛГМ относительно традиционных способов литья, хотя и обеспечивало более высокое качество отливок. Этому способствовало и появление в 1968 г. патента на способ получения от-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ливок по газифицируемым моделям в формах из песка с применением вакуума. Согласно патенту, для формовки используется специальный контейнер, оборудованный системой вакуумирования. Газифицируемая модель заформовывается в кварцевом песке, который уплотняется вибрацией. Сверху на форму накладывается полиэтиленовая пленка, после чего форма вакуумируется и заливается металлом. Считается, что вакуум предохраняет форму от разрушения во время ее заливки расплавом.

Второй период развития ЛГМ пришелся на 1970-е гг. и характеризуется накоплением опыта изготовления сложных отливок, технологической и технической подготовкой их серийного производства. Создаются региональные научно-производственные объединения и исследовательские центры в составе промышленных фирм и в технологических институтах, которые проводят работы по совершенствованию технологии ЛГМ и оказанию помощи предприятиям во внедрении данной технологии для серийного производства отливок из различных сплавов взамен традиционных способов литья. Так, в 1970 г. Общество литья по газифицируемым моделям и фирмы «Correcto Werke», «Grunweid and Hartman», а также «Группа магнитной формовки» (А. Виттмозер и Р. Гофман) подписали соглашение об организации нового объединения под сокращенным названием «VV». Данное объединение обладало правами на 100 патентов и патентных заявок по ЛГМ в европейских странах. Оно обслуживало около пятидесяти европейских фирм, оказывало им помощь в совершенствовании и внедрении ЛГМ.

В научно-исследовательском центре фирмы «Ford Motors» проводились работы по применению ЛГМ для получения отливок из серого и высокопрочного чугунов и алюминиевых сплавов широкой номенклатуры деталей автомобиля (сплошные и полые коленвалы, зубчатые колеса, шатуны, коллекторы, головка и блок цилиндров и др.). Соответствующие работы проводились фирмами «Fiat», «General Motors», «Jut Board Marine», «Deereand Co», «Arco» и многими др.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

К концу 1970-х гг. уже более чем в 70 литейных цехах разных фирм технология ЛГМ находилась на стадии внедрения или осуществлялся выпуск серийных отливок в промышленных масштабах. Накопленный за это десятилетие научный и практический опыт применения ЛГМ для получения отливок из черных и цветных сплавов стал основой для внедрения данной технологии в серийном производстве широкой номенклатуры отливок в различных отраслях машиностроения в 1980-е гг., которые определяют третий период в развитии ЛГМ-процесса. Наибольшие успехи во внедрении ЛГМ были достигнуты автомобильными фирмами. Фирма «Ford Motors» в 1980 г. освоила промышленную установку для производства отливок впускного коллектора из алюминиевого сплава и выпустила 25 000 коллекторов высокого качества. В 1984 г. в этом же цехе была установлена вторая полуавтоматическая линия производительностью 180 форм в час, на которой производство коллекторов было доведено до 3 млн в год, при этом максимальный брак литья составил около 5 %. На старой установке было освоено производство отливок из чугуна: корпус водяного насоса, тормозной диск, выхлопной коллектор, полый коленвал. Данный цех имел производственную площадь 2700 м² и являлся в то время самым крупным литейным цехом по производству отливок ЛГМ.

Фирма «General Motors» в 1982 г. на предприятии «Сатурн» установила автоматическую линию производства ЛГМ головки и блока цилиндров из алюминиевого сплава для дизельного двигателя в количестве 1000 отливок в сутки при трехсменной работе. В настоящее время в цехе работают две автоматические линии. На второй линии получают отливки из чугуна: коленвал, корпус дифференциала, впускной коллектор и др. В цехе автоматизированы все технологические операции, за исключением заливки форм металлом. Отмечается высокое качество отливок, которые по точности соответствуют литью под давлением, а по качеству поверхности — литью в кокиль. Фирма успешно решила экологическую проблему. При вакуумировании форм во время заливки их металлом продукты термодеструкции модели поступают в установку каталитического дожигания газов до углекислого газа и паров во-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ды. В цехе работает 180 человек (по 60 в каждой смене). Цех расположен под одной крышей с механическим цехом, что говорит об экологической чистоте производства отливок ЛГМ. Фирма «Robert's Co» изготовила и освоила шестипозиционную установку производительностью 180 форм в час. Модельные блоки подаются по монорельсу и манипулятором устанавливаются в опоку-контейнер, который засыпается сухим кварцевым песком посредством телескопической трубы-дозатора. Форма уплотняется вибрацией с регулируемым направлением и величиной амплитуды. После заливки формы и извлечения отливки из нее песок поступает в установку кипящего слоя, в которой он обеспыливается, а содержащиеся в нем продукты термодеструкции модели дожигаются. После охлаждения песок вновь поступает на формовку. Эта же фирма заключила соглашение с фирмой «Badine Aluminum» о создании совместного предприятия по производству отливок из алюминиевых сплавов. Новое предприятие оснащено формовочной линией производительностью 30 форм в час с размером контейнера в плане 1016 x 813 мм. Предприятие обеспечивает литьем свыше 10 потребителей, которые производят строительные машины, электродвигатели и детали для ЭВМ.

По мнению американских специалистов, ЛГМ-процесс является одним из лучших современных способов литья, который может удовлетворить потребности крупносерийного производства отливок высокой точности. В сочетании с системой автоматического управления на базе микропроцессорной техники и роботов применение данного способа литья позволит создать гибкое производство отливок. Такое положение основано на единой опоке, в которой используется весь ее объем, в отличие от разъемной формы, едином формовочном материале, простоте формовки, неограниченном сроке хранения моделей и недорогой оснастке.

В 1990-е гг. ЛГМ находит широкое применение в Японии, Корее и Китае. В Японии около 200 фирм используют ЛГМ для производства отливок из различных сплавов. Фирма «Morikawa Sandino» в короткие сроки приобрела репутацию лидера в производстве отливок ЛГМ и стала ведущей фирмой в

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						111
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

разработке технологии и оборудования для данного способа производства отливок. В 1984 г. она начала проводить исследования данного процесса, а уже в 1985 г. стала производить в промышленном масштабе втулки подшипника для двигателя «Honda», гильзы цилиндров из фосфор-ванадиевого чугуна, коробку дифференциала из высокопрочного чугуна, впускные коллекторы из алюминиевого сплава. В КНР создано специализированное предприятие по производству отливок соединительных деталей трубопровода. Фирма «Dong Kuk» (Корея) освоила производство фитингов из высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям. В 1988 г. в промышленно развитых странах производство отливок ЛГМ осуществлялось более чем в 100 литейных цехах с месячным выпуском 400 т чугуна и 2000 т алюминиевого литья. Еще в 100 литейных цехах велись опытно-промышленные работы по внедрению производства отливок из различных сплавов. В Англии в конце 1980-х гг. было сдано в эксплуатацию шесть опытно-промышленных установок для изготовления отливок данным способом. По данным зарубежных специалистов, количество цехов, работающих по технологии ЛГМ, в ближайшие несколько лет будет ежегодно удваиваться.

Расширению объемов производства отливок ЛГМ в различных странах способствовало дальнейшее усовершенствование технологии и оборудования. Так, фирмы «Castek» (Англия) и «Teksid» (Италия) разработали технологический процесс под фирменным названием Policast, который включал в себя технологию изготовления моделей, сборку модельных блоков, их окраску и формовку, заливку формы металлом. Фирмы «FATA» и «Fiat Teksid» построили в Италии два цеха для производства коллекторов автомобильных двигателей по ЛГМ-процессу. В одном цехе выпускаются выхлопные коллекторы из серого чугуна на автоматической линии производительностью 40 форм в час, причем в форме одновременно отливаются 8 коллекторов. В другом цехе на автоматической линии производительностью 50 форм в час отливаются впускные коллекторы из алюминиевого сплава.

Ассоциация «SCRATA» (Steel Casting Rusers and Trade Association) разработала технологический процесс ЛГМ под фирменным названием Replicast в двух вариантах. При Replicast-FM модель из пенополистирола с литниковой системой устанавливается в контейнер и засыпается сухим песком, который затем уплотняется вибрацией. Верх контейнера закрывается полиэтиленовой пленкой, и в форме создается вакуум порядка 0,04-0,05 МПа, после чего форма заливается металлом. Такая технология ЛГМ позволяет получать отливки в форме из песка массой до 2 т, что значительно расширяет область применения ЛГМ-процесса. Способ Replicast-CS (Shell moulding refractory) разработан для производства отливок из высококачественных малоуглеродистых сталей и других сплавов, которые чувствительны к продуктам термодеструкции пенополистирола. По данному способу на модель из пенополистирола повышенной плотности (40-50 кг/м³) наносится керамическая оболочка из 4-5 слоев, как при литье по выплавляемым моделям. Толщина оболочки составляет 3,2-4,7 мм. Затем полученная керамическая форма помещается в печь, где при температуре 9300 °С происходит спекание оболочки и выгорание модели. Полученная керамическая оболочка помещается в контейнер, засыпается кварцевым песком, который уплотняется в контейнере вибрацией, затем полученная форма накрывается полиэтиленовой пленкой, и перед заливкой формы металлом в ней создается вакуум порядка 0,04-0,05 МПа. Такая технология позволяет получать точные и качественные отливки из низкоуглеродистых марок стали без поверхностного и объемного науглероживания. Ассоциация «SCRATA» передала все права на продажу лицензии по Replicast-процессу фирме «Foseco International», которая за короткое время реализовала 13 лицензий. Фирма «Glencast Ltd» по лицензии фирмы «Foseco» производит до 90 % заготовок штампов. Аналогичные отливки данным способом получает фирма «Haffer-sley Neuman Hender». Фирма «Bradey and Foster» (Англия) на линии производительностью 6 форм в час получает литьем по газифицируемым моделям в вакуумируемые формы из песка крупные отливки из жаро- и износостойких чугунов. Это позволило ей

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						133
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

полностью отказаться от стержней, а в ряде случаев и от механической обработки, при этом трудозатраты на очистку отливок сократились на 29%, на формовку — на 28%, на механическую обработку — на 9%. Точность отливок возросла на 13%.

Фирма «Wolverhampton Iron Founders» производит отливки ЛГМ массой от 0,22 до 70 кг. Модели из пенополистирола поставляет фирма «Foseco». На модели наносится противопопригарное покрытие, и затем с литниковой системой они устанавливаются в контейнер емкостью 1 м³, в котором заформовываются сухим песком.

Английская фирма «Herry Bar Metal Co» заменила технологический процесс литья в кокиль на ЛГМ для производства отливок из алюминиевых сплавов. Фирма поставляет впускные коллекторы, корпуса водяных насосов и другое литье автомобильным предприятиям. Опыт работы фирмы показал высокую эффективность ЛГМ при получении сложных тонкостенных отливок повышенной точности, при этом стоимость пресс-форм для моделей из пенополистирола соизмерима со стоимостью кокиля.

В литейном цехе фирмы «Peugeot» установлена автоматическая линия производительностью 60 форм в час для ЛГМ 4-цилиндрового блока дизельного двигателя. Линия имеет три позиции формовки. На первой позиции контейнер засыпается на 1/3 высоты сухим кварцевым песком, который затем приводится в псевдожидкое состояние за счет подачи воздуха под давлением в нижнюю часть контейнера. Блок, состоящий из двух моделей и литниковой системы, манипулятором погружается в кипящий слой песка. На второй позиции контейнер засыпается песком доверху, и форма уплотняется вибрацией. На третьей позиции контейнер досыпается песком, и сверху формы устанавливается груз. Заливка форм производится при помощи автоматической заливочной установки при строгом контроле температуры металла. При заливке форма вакуумируется (без наложения пленки). Перед выбивкой форма продувается воздухом, и выделяющиеся газы поджигаются постоянно горящим газовым факелом. Модели из пенополистирола поставляет фирма

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						144
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Saplest», которая специализируется на производстве различных изделий из пенополистирола. В литейном цехе фирмы «Sitroen» ЛГМ отливаются рычаги подвески автомобиля. Фирма «Passavant Werke» (Германия) имеет Цех ЛГМ мощностью 7600 т в год, в котором производятся отливки нефтяных сепараторов трех типоразмеров массой 90, 190 и 250 кг в количестве 48 тыс. комплектов. При переходе на ЛГМ с песча-но-глинистой формовки по извлекаемым моделям количество брака снизилось с 8-10 до 3-5 %.

Общество «SAFAM» впервые в Европе разработало и внедрило автоматическую линию для производства отливок из ковкого чугуна по газифицируемым моделям. Линия состоит из горизонтально замкнутого конвейера, автоматов для изготовления форм и их выбивки после охлаждения отливок, установки регенерации песка в кипящем слое. Контейнер размером 840 x 840 x 920 мм заполняет песком специальный быстродействующий распределитель. Производительность линии 120 форм в час. Отливки имеют повышенную размерную точность и низкую шероховатость поверхности, сокращены операции обрубки, очистки литья и значительно улучшились условия труда. В научно-исследовательском центре «Voreppe» фирмы «Pechiney Group» в г. Гренобле разработана технология литья по газифицируемым моделям с применением изо-статического прессования металла в процессе его кристаллизации, что позволило значительно снизить пористость отливок из алюминиевых сплавов. Отливки изготавливаются на 8-позиционной карусельной установке производительностью 80 форм в час. Отмечается, что данная технология снижает себестоимость литья на 20 %.

Широкое внедрение ЛГМ в крупносерийном производстве стало возможным благодаря созданию высокопроизводительного автоматизированного оборудования и систем управления технологическим процессом на основе применения микропроцессорной техники и ЭВМ. Так, например, фирмы «Fiat Teksid» и «FATA ALUMINIUM» создали комплекс оборудования для производства отливок по технологии Policast. Модели изготавливаются на специальных автоматах производительностью 40-50 съёмов в час. Склейка

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		155

моделей посредством термокля происходит на вакуумном прессе производительностью 50 циклов в час. Сборка модельных блоков осуществляется на карусельной установке производительностью 120 циклов в час методом сварки при температуре 150 °С. Модельный блок роботом-манипулятором окрашивается методом окунания в баке с противопопригарным покрытием, содержащим тиксо-тропные добавки. Другой манипулятор устанавливает готовые модельные блоки в опоки и поддерживает их при формовке сухим кварцевым песком. Заливка формы металлом, охлаждение отливки и выбивка формы происходят на автоматической линии. В процессе выбивки манипулятор извлекает блок отливок из опоки и укладывает в специальную тару, которая по мере заполнения транспортируется на участок финишной обработки. Технология Policast и весь комплекс оборудования демонстрировались фирмами на международных выставках в Москве (1968) и в Дюссельдорфе (1989). В настоящее время многие зарубежные фирмы выпускают специализированное оборудование для производства отливок ЛГМ, среди которых следует назвать следующие: «Robinson Foundrey», «Vulcan Engineering», «Intermets Research Foundrey», «Ford Motors», «Plant Robert», «Arco», «Founder Automation», «CS Cast» в США, «Pechiney» во Франции, «Wolverhampton Iron Founders» в Англии и мн. др. Крупным производителем литейного оборудования, в том числе для ЛГМ, является фирма «Maverey Group», в которую входят такие фирмы, как «Moverek Fordath», «Marerex International», «International Keting Accociates», «Movertern Engineering», «Bobrek Engineering», «Parts and Servie» и др. В 1980-е гг. ЛГМ окончательно утвердилось в серийном и массовом производстве отливок ответственного назначения, потеснив традиционные способы литья, и в первую очередь в песчано-глинистые формы по извлекаемым моделям.

Представители многих зарубежных фирм этот факт объясняют следующими преимуществами ЛГМ:

- уменьшаются затраты на оборудование и материалы;

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		166

- исключаются из производственного процесса стержневое, формовочное и смесеприготовительное оборудование;
- применение в качестве материала формы сухого кварцевого песка и упрочнение формы вакуумом;
- снижение требований к квалификации рабочего персонала;
- возможность комплексной автоматизации всего технологического процесса;
- сокращение числа технологических операций и оборудования для финишной обработки отливок;
- использование недорогой и сравнительно простой оснастки;
- значительное улучшение условий труда.

Для 1990-х гг. характерны дальнейшее расширение объема производства отливок ЛГМ, появление крупных фирм и объединений, комплексно решающих вопросы внедрения технологии и оборудования, создание новых технологий на основе ЛГМ. Английская фирма «Avto Ellois» начала свою деятельность по исследованию ЛГМ в 1988 г. и через несколько лет стала одной из ведущих фирм по внедрению данной технологии в различных странах мира, за что Британский институт литья наградил ее культовым мечом. В 1989 г. на коммерческих началах фирма внедрила технологию ЛГМ в Австралии, в 1994 г. — в Северной Америке, в 1995 г. — в Индии. Разработанному технологическому процессу производства отливок по газифицируемым моделям фирма дала название Stirocast. Особенностью этого процесса является гарантия получения отливок высокого качества при низких капитальных затратах. Фирма считает, что ЛГМ станет основной технологией производства высококачественных отливок в XXI в.. В г. Эйндховен (Голландия) компания «ГЕМКО» проводит работы по технологии, проектированию участков и цехов, оснащению их оборудованием для производства отливок ЛГМ. В 1997 г. в Центре разработки и внедрения технологии была освоена установка литья по газифицируемым моделям производительностью 40 съемов в час при металлоемкости одной формы до 160 кг, которая предназначалась для

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		177

демонстрации технологии ЛГМ заказчикам. Эта фирма проводит активную работу по внедрению данной технологии в различных странах, в том числе и в России.

В конце 1990-х гг. в США работало 75 литейных цехов, которые производили более 115 тыс. т отливок в год ЛГМ, в Европе свыше 100 цехов выпускали более 125 тыс. т, в Японии и Китае более 200 цехов и участков производили около 100 тыс. т литья в год. По данным фирмы «Vulcan Engineering Co», в 1997 г. общий объем производства отливок по газифицируемым моделям составил 460 тыс. т в год.

В СССР исследования ЛГМ были начаты в 1963 г. инженером А. Чудновским в Научно-исследовательском институте специальных способов литья (г. Одесса), и в том же году ему было выдано авторское свидетельство на отечественный вариант ЛГМ. Промышленное применение данная технология получила уже в 1965 г. на Горьковском автомобильном заводе, где была получена первая партия отливок (227 наименований, общая масса около 100 т). В первом полу! одни 1966 г. на этом же заводе было произведено 600 отливок массой от 18 до 3500 кг (общая масса более 420 т). В середине 1960-х гг. активизируются работы по исследованию технологии ЛГМ в различных научно-исследовательских институтах и в вузах. В первую очередь надо отметить следующие организации, в которых научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы получили приоритетное развитие: НИИСЛ (г. Одесса), МВТУ им. Баумана, ВНИИЛитмаш, Московский автомеханический институт (МАМИ), Московский авиационно-технологический институт (МАТИ), ЦНИИТМаш (г. Москва), ВПКТИСтройдормаш (г. Киев), Харьковский филиал ВНИИЛитмаш. В 1965 г. при Научно-техническом обществе машиностроительной промышленности был создан Комитет литья по газифицируемым моделям под руководством д. т. н., проф. Г.Ф. Баландина, который существует и по настоящее время в составе Российской ассоциации литейщиков. В те годы комитет сыграл значительную роль в координации научно-исследовательских работ и пропаганде нового способа производства

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						188
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

отливок. В то время советскими учеными-литейщиками были разработаны теоретические основы производства отливок в формах из песка без связующих компонентов, теория формирования отливок, технологические основы проектирования ЛГМ, создан специальный литейный пенополистирол ПСВ-Л для газифицируемых моделей.

В 1970-е гг. в СССР сформировались научно-технические центры по разработке технологии и оборудования для ЛГМ в Институте проблем литья Академии наук Украины (г. Киев), в ВПКТИСтройдормаш (г. Киев), в Харьковском филиале ВНИИЛитмаш. В эти годы началось внедрение ЛГМ в единичном и серийном производстве отливок. В 1971 г. был пущен первый в стране цех серийного производства отливок по газифицируемым моделям в г. Прилуки (Полтавская обл.) мощностью 200 т литья в год. Участки и цеха различной мощности создаются на Ивановском автокрановом заводе, Гомельском экскаваторном заводе, Брянском заводе ирригационных машин, Могилевском лифтостроительном заводе, Московском заводе «Динамо», Электростальском заводе тяжелого машиностроения, Волжском автомобильном заводе и др. Создаются первые цеха магнитной формовки на Курганском арматурном заводе и Белоцерковском заводе сельхозмашиностроения. Проводятся работы по производству крупных стальных отливок на Невском машиностроительном заводе. Технология ЛГМ внедряется на Дрогобычском автокрановом заводе, Курганском машиностроительном заводе, Белопольском заводе пищевого машиностроения, Одесском заводе «Центролит». Наряду с внедрением технологии литья по газифицируемым моделям в научно-производственных центрах проводятся работы по ее совершенствованию. Так, в НИИСЛе (г. Одесса) на основе ЛГМ был разработан новый технологический процесс получения отливок в вакуумируемые формы из песка массой до 2000 кг под фирменным названием ГАМОЛИВ, который был успешно внедрен на Одесском заводе «Центролит». В ИПЛ АН УССР (в настоящее время Физико-технический институт металлов и сплавов) был разработан процесс ЛГМ с применением вакуума и заливки формы металлом под регу-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

лируемым давлением, который получил название ГАМОДАР. В Москве в НИИТАвто-проме организуется новый научно-технический центр по ЛГМ, который в 1990-е гг. становится основным разработчиком технологии и оборудования в России.

В конце 1980-х и начале 1990-х гг. разрабатываются крупные проекты цехов серийного производства отливок ЛГМ для ряда заводов России, Украины, однако в связи с резким спадом производства в результате распада СССР работы по реализации данных проектов сворачиваются. Резко сокращается финансирование научно-исследовательских работ, закрывается ряд научно-технических центров, затем научно-исследовательские работы практически прекращаются. Однако достигнутые в предшествующие годы успехи в области технологии и оборудования вызывают интерес зарубежных производителей литья. Так, АО «Камет» (старое название — ВПКТИСтройдор-маш) успешно внедрил технологию и оборудование для производства отливок ЛГМ в Судане, АО «НИИТАвтопром» — в Болгарии, ФТИМС (бывший ИПЛ АН УССР)— в Румынии и Польше. Интерес к работам по ЛГМ проявляют фирмы Турции, Ирана, Вьетнама, Индии и других стран. В середине 1990-х гг. наметилась тенденция роста заинтересованности промышленных предприятий и фирм к технологии ЛГМ, что объясняется возросшими требованиями к качеству отливок со стороны потребителей литья, а также гибкостью данной технологии при сравнительно низких капитальных затратах на ее внедрение. На ряде заводов Украины создаются мелкие участки производства отливок ЛГМ, оснащенные системой вакуумирования формы при ее заливке металлом, установками каталитического дожигания продуктов термодеструкции модели и регенерации отработанного песка. В России на ОАО «Волжский литейно-механический завод» (ныне — ОАО «Волжский завод точного литья») создан цех, оснащенный высокопроизводительным оборудованием отечественного изготовления для производства отливок из серого и высокопрочного чугуна мощностью 5 тыс. т в год. В цехе предусмотрены регенерация отработанного песка и каталитическое дожигание продуктов

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

термодеструкции модели. Работы по завершению процесса внедрения оборудования и технологии проводились на заводе на основании программы Правительства Российской Федерации НИИЛитмаш, МГИУ и ОАО «СММ» (Специальное машиностроение и металлургия). В 1993 г. по технологии ЛГМ на ОАО «Южноуральский арматурно-изоляторный завод» пущен цех по производству изоляторов и арматуры высоковольтных линий электропередачи из высокопрочного чугуна мощностью 500 т. В конце 2000 г. технология ЛГМ внедряется на ЗАО «Златоустовский литейный завод "Металпласт"», на заводе «СОЭЗ-Автодеталь» для производства отливок из алюминиевых сплавов для ВАЗа, на ООО «АКС» (С.-Петербург) для производства отливок из медных и углеродистых сплавов взамен литья по выплавляемым моделям. ООО «АКС» в настоящее время является единственным в России разработчиком и поставщиком механизированных линий формовки, заливки и выбивки форм и другого оборудования для цехов и участков литья по газифицируемым моделям. Отливки из медных сплавов производятся на ООО «Металит» (г. Ижевск). Научно-исследовательские работы по данному процессу проводятся на кафедре литейного производства МГИУ под руководством автора. Технология ЛГМ в настоящее время внедряется на многих предприятиях Российской Федерации.

За последние 40 лет на основе применения газифицируемой модели были разработаны технологические процессы, которые предопределили широкое внедрение ЛГМ в промышленность [1].

1.1 Недостатки литья по газифицируемым моделям

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с определённой скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведёт к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При термическом разложении пенополистирола, выделяются различные газо- и парообразные продукты, которые наносят вред организму рабочего, а также атмосфере литейного цеха.

В таблице 1, приведен список всех веществ выделяемых при термодеструкции пенополистирола, а также их количества. Далее приведем описание каждого из этих веществ:

- H_2 (водород) – легкий бесцветный газ, нетоксичен и не взрывоопасен в малых количествах;
- CO (угарный газ) – бесцветный газ, без запаха, со слегка кисловатым вкусом. В наших исследованиях было замечено незначительное повышение концентрации до 3,7%, что может приводить к развитию у человека сонливости и слабости. Угарный газ попадает в атмосферный воздух при любых видах горения. В городах в основном в составе выхлопных газов из двигателей внутреннего сгорания. Угарный газ активно связывается с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин, и блокирует передачу кислорода тканевым клеткам, что приводит к гипоксии герметического типа. Угарный газ также включается в окислительные реакции, нарушая биохимическое равновесие в тканях;
- CH_4 (метан) – простейший углеводород, бесцветный газ, без запаха. Метан одновременно и взрывоопасен, и потенциально ядовит для человека, но в количестве 2,19% не причиняет человеку вреда. Метан является самым физиологически безвредным газом в гомологическом ряду парафиновых углеводородов. Физиологическое действие метан не оказывает и не ядовит (из-за малой растворимости метана в воде и плазме крови и присущей парафинам химической инертности). Погибнуть человеку в воздухе с высокой концентрацией метана можно только от недостатка кислорода в воздухе. Так, при содержании в воздухе 25—30 % метана появляются первые признаки удушья (учащение пульса, увеличение объема дыхания, нарушение координации тонких мышечных движений и т.д.). Более высокие концентрации ме-

тана в воздухе вызывают у человека кислородное голодание — головную боль, одышку, — симптомы, характерные для горной болезни.

Так как метан легче воздуха, он не скапливается в проветриваемых подземных сооружениях. Поэтому случаи гибели людей от удушья при вдыхании смеси метана с воздухом весьма редки.

Первая помощь при тяжелом удушье: удаление пострадавшего из вредной атмосферы. При отсутствии дыхания немедленно (до прихода врача) искусственное дыхание изо рта в рот. При отсутствии пульса — непрямой массаж сердца;

- C_2H_4 (этилен) – бесцветный горючий газ со слабым запахом. Этилен является одним из важнейших соединений, производимых в огромных промышленных масштабах. Его используют в качестве сырья для производства целого спектра различных органических соединений (этанол, этиленгликоль, уксусная кислота и т.д.). Этилен служит исходным сырьем для производства полимеров (полиэтилен и др.). Его применяют в качестве вещества, ускоряющего рост и созревание овощей и фруктов. Этилен обладает наркотическим действием, класс опасности – четвертый;

- C_2H_6 (этан) – по сравнению с метаном он взрывоопасен и малотоксичен. Обладает слабым наркотическим и галлюциногенным действием (ослаблено за счет низкой растворимости в жидкостях организма). Класс опасности – четвертый;

- C_2H_2 (ацетилен) – бесцветный газ, легче воздуха, взрывоопасное вещество при температуре свыше $500^{\circ}C$, взрывоопасность уменьшается при

- разбавлении его другими газами (азот, метан и пропан). Вещество может всасываться в организм при вдыхании. При утечке содержимого этот газ может привести к гибели от удушья, вследствие снижения содержания кислорода в воздухе в замкнутом пространстве. Быстрое испарение жидкости может вызвать обморожение. Вещество может оказывать действие на нервную систему. Вещество разлагается при разогреве и повышении давления, вследствие чего возникает опасность пожара и взрыва. Вещество яв-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

ляется сильным восстановителем и бурно реагирует с окислителями и с фтором и хлором под воздействием света, приводя к опасности возникновения пожара и взрыва. Газ хорошо смешивается с воздухом, легко образует взрывчатые смеси;

- C_5H_{12} (пентан) – обладает наркотическим действием, но в малых количествах не опасен. Класс опасности – четвертый;
- C_6H_6 (бензол) – при непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, поэтому порядок работ с бензолом не регламентирован. В больших количествах вызывает тошноту и головокружение, а в особо тяжких случаях смертельный исход. Бензол является одним из самых распространённых ксенобиотиков антропогенного происхождения.

При непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, поэтому до недавнего времени порядок работ с бензолом особо не регламентировался. В больших дозах бензол вызывает тошноту и головокружение, а в некоторых тяжёлых случаях отравление может повлечь смертельный исход. Первым признаком отравления бензолом нередко бывает эйфория. Пары бензола могут проникать через неповрежденную кожу. Жидкий бензол довольно сильно раздражает кожу. Если организм человека подвергается длительному воздействию бензола в малых количествах, последствия также могут быть очень серьёзными. Бензол является сильным канцерогеном. Исследования показывают связь бензола с такими заболеваниями, как апластическая анемия, острые лейкозы хронический миелоидный лейкоз, миелодиспластический синдром и заболевания костного мозга;

- C_7H_8 (толуол) – бесцветная подвижная летучая жидкость, с резкими запахом. Является сильным токсичным ядом. Пары толуола могут проникать через неповрежденную кожу и органы дыхания, вызывать поражение нервной системы (заторможенность, нарушения в работе вестибулярного аппарата), в том числе необратимое. Поэтому работать с толуолом и растворителями, в состав которых он входит, необходимо в прочных резиновых

перчатках в хорошо проветриваемом помещении или с использованием вытяжной вентиляции;

- C_8H_8 (стирол) – токсичен, класс опасности – третий. Яд общетоксического действия, он обладает раздражающим, мутагенным и канцерогенным эффектом и имеет очень неприятный запах (порог ощущения запаха — 0,07 мг/м³). При хронической интоксикации у рабочих бывают поражены центральная и периферическая нервная система, система кроветворения, пищеварительный тракт, нарушается азотисто-белковый, холестериновый и липидный обмен, у женщин происходят нарушения репродуктивной функции. Стирол проникает в организм в основном ингаляционным путём. При попадании на слизистые оболочки носа, глаз и глотки паров и аэрозоля стирол вызывает их раздражение. Содержание метаболитов бензола в моче — миндальной, фенилглиоксиновой, гинуриновой и бензойной кислот — используют в качестве экспозиционного теста. Практически все реакции, которые подвергаются данные вещества, несут потенциальную угрозу здоровью и даже жизни человеку.

Из выше перечисленных продуктов реакции самым опасным является стирол, при содержании его 70,10%. Он представляет основную угрозу для организма рабочего и для атмосферы цеха, но также является главным компонентом для производства пенополистирола. Таким образом, данный способ литья (ЛГМ) является достаточно вредным с точки зрения экологии, несмотря на все его преимущества.[11]

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Таблица 1 – Состав продуктов термодеструкции при плотности модели
25 кг/м³, вес. %

Продукты термодеструкции	700 °C
<i>Парообразные продукты термодеструкции</i>	
C_6H_6	13,0 13,15
C_7H_8	4,35 4,35
C_8H_8	69,40 70,10
Итого:	86,75 87,60
<i>Газообразные продукты термодеструкции</i>	
H_2	0,28 0,22
CO	2,94 3,74
CH_4	2,19 1,49
C_2H_4	2,74 2,12
C_2H_6	0,25 0,75
C_2H_2	0,02 0,03
$i - C_5H_{12}$	2,38 2,25
Итого:	10,80 10,60
Углерод	3,25 1,80
Всего:	100

Примечание. Верхняя строка – результаты анализа при скорости подъема металла в форме 1,0 см/с, нижняя строка – 2,5см/с.

Одним из способов решения данной проблемы является применение литья вакуумным всасывания по пенополистироловым моделям. Схема установки литья по газифицируемым моделям вакуумным всасыванием приведена на рисунке 1.

Суть данного процесса заключается в том, что форму помещают в специальную вакуумную камеру, которая в свою очередь подключена через ресивер к вакуумному насосу. Во время заливки все выделяемые газы отсасываются из формы через ресивер и идут на очистку или дожигание.

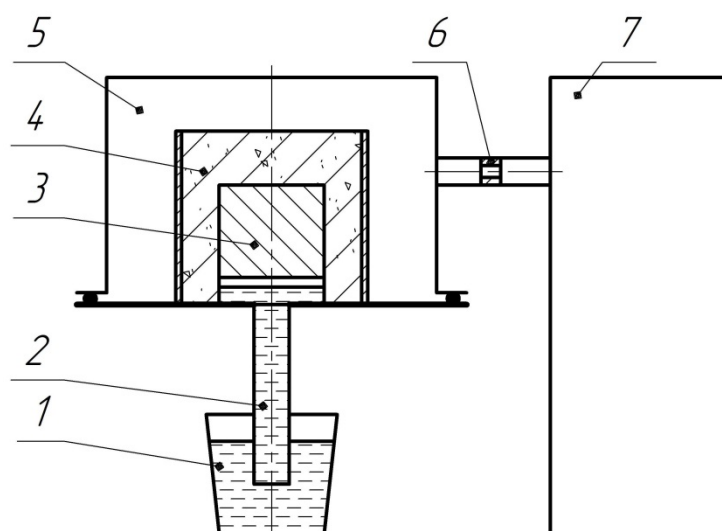


Рисунок 1 – Схема установки литья по газифицируемым моделям вакуумным всасыванием:

1 – тигель с расплавом; 2 – металлопровод; 3 – модель из пенополистирола; 4 – песчаная форма; 5 – вакуумная камера; 6 – дросселирующее устройство, 7 – ресивер.

Экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается исключением из применения токсичных связующих, большого объема формовочных и стержневых песчаных смесей (обычно 2 т смеси со связующим идет в отвал на 1 т литья), транспортировки их и выбивки отливок. Например, 1 куб. м пенополистирола модели весит 25 кг, если он замещается 7 т жидкого чугуна, то при этом на 1 т литья расходуется $25/7=3,6$ кг полимера. Тогда как в формах из смоляных холодно-твердеющих смесей (ХТС) при потреблении 3% связующего в смеси на 3 т смеси на 1 т литья расход составляет $0,03 \times 3000 = 90$ кг полимерного связующего, или в $90/3,6=25$ раз больше.

Чтобы пенопластовая модель не дымила в цех, при заливке металла в форму и в период его затвердевания из контейнера отсасывают насосом все газы - разрежение поддерживают примерно пол-атмосферы. Затем эти газы через трубу вакуумной системы подают для обезвреживания в систему термокаталитического дожигания, где они окисляются до уровня не менее 98% и в виде водяного пара и двуокиси углерода выбрасываются в атмосферу за пределами помещения цеха. Традиционные формы после заливки металлом дымят в помещении, как ни вентилируй рабочую зону цеха.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Такое удаление газов из сухого песка формы согласно проведенным измерениям концентраций примесей в воздухе цеха в 10-12 раз снижает показатели загрязнений атмосферы рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные формы. Формовочный кварцевый песок после извлечения из формы отливок, благодаря его высокой текучести, обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключаяющей пыление его на воздухе цеха. Песок поступает в установку терморегенерации, где очищается от остатков конденсированных продуктов деградации пенополистирола, а затем после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается опять на формовку при использовании около 97% оборотного песка. Значительную часть бункеров и трубопроводов комплекса для оборота песка часто монтируют за пределами помещения цеха у внешней его стены, при этом на открытом воздухе песок быстрее охлаждается. Изолирование в закрытых трубопроводах потоков материалов и отсасывание-дожигание газов в сочетании с весьма чистым модельным производством дает возможность создать экологически чистые цеха высокой культуры производства.

Другим существенным недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками. На дно опоки, вставленной внутрь соленоида, присоединённого к сети переменного тока, насыпают слой железного порошка, ставят на него пенопластовую модель с литниковой системой и засыпают её доверху тем же железным порошком (опилками), затем включают ток, превращающий железный порошок в монолит, и заливают расплавленный металл, мгновенно сжигающий пенопласт. Как только отливка чуть затвердеет, ток выключают, и форма вновь становится порошком [5].

1.2 Материалы (производство пенополистирола, химическая формула)

Полистиро́л — продукт полимеризации стирола (ла), термопластичный полимер линейной структуры.

Таблица 2 – Сведения о пенополистироле

Общие	
Сокращение	PS
Химич. формула	$(C_8H_8)_n$
Физич. св-ва	
Плотность	1,069-1,125 г/см ³
Термич. св-ва	
T _{пл.}	~140°C

В таблице 2 представлены краткие сведения о пенополистироле.

1.2.1 Получение полистирола

Основным методом производства стирола в технике до сих пор является каталитическое дегидрирование этилбензола при высоких температурах. Этилбензол, в свою очередь, получают каталитическим жидкофазным алкилированием бензола этиленом на безводном $AlCl_3$ в мягких условиях. Выход полупродукта и мономера в обоих процессах близок к 90 % от теории. Наибольшую сложность вызывает очистка конечного, продукта от этилбензола и побочных веществ (бензола, толуола и др.), которая производится многоступенчатой ректификацией смеси. Применяют также метод получения этилбензола, состоящий в непосредственном выделении его из смеси ксилолов. Эту смесь, содержащую 15—18% этилбензола, выделяют из легкой фракции пиролиза нефти. Для четкого разделения компонентов смеси, температуры кипения которых очень близки (отличаются только на 4°C), необходимо применение высоких и эффективных ректификационных колонн.

Обычно в качестве катализаторов реакции применяют окислы металлов (железа, магния, цинка, меди и др.), и процесс протекает в присутствии водяного пара, понижающего парциальное давление реагентов примерно до 0,01

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

МПа. В результате уменьшения давления равновесие обратимой реакции дегидрирования сдвигается в сторону образования стирола, поскольку она сопровождается увеличением объема реакционной смеси.

Кроме снижения давления смешение пара с этилбензолом непосредственно перед подачей в контактный аппарат приводит к уменьшению побочных реакций, перегретый пар обеспечивает нагревание, необходимое для реакции дегидрирования. Кроме этого, благодаря непрерывной реакции водяного пара с коксом, осажденным на катализаторе, устраняется необходимость в периодической регенерации последнего и тем самым обеспечивается непрерывность процесса дегидрирования в течение длительного срока.

Реакция дегидрирования этилбензола осуществляется в контактном аппарате 4 шахтного типа без топки, изготовленном из углеродистой стали; снаружи он покрыт теплоизоляционным материалом, а внутри футерован огнеупорным кирпичом. Иногда используют трубчатые контактные аппараты с топками. Воздух из воздуходувки подается для нагревания в печь, которая служит для перегрева (до 710°C) водяного пара, поступающего из теплообменника с температурой 385°C . Обогрев печи производится газообразным топливом. Причем отходящими газами нагревается подаваемый в печь воздух, а также этилбензол в испарителе. Пары этилбензола перед поступлением в контактный аппарат нагреваются в теплообменнике до температуры 520°C . Смешение паров этилбензола и воды, подаваемых из теплообменников, происходит при поступлении в контактный аппарат через вход, расположенный в нижней части реактора. Смесь паров, поднимаясь вверх, проходит в контактной зоне через решетку из хромоникелевой стали, на которой находится катализатор. Выходящие из аппарата продукты реакции, имеющие температуру 565°C , охлаждаются при последовательном прохождении теплообменников и одновременно нагревая пары этилбензола и перегревая водяные пары. Затем контактные газы направляются в холодильник смешения для охлаждения до температуры 105°C , при этом происходит конденсация смолообразных веществ — побочных продуктов реакции дегидрирования

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

этилбензола. Выходящая из холодильника смесь сжижается в конденсаторе. Полученный конденсат сначала в сепараторе освобождается от газов (водорода, метана, этана, двуокиси и окиси углерода), а затем в разделителе отстаивается, и в результате чего происходит разделение на смолообразные вещества, воду и углеводороды [4].

Очистка сырого дегидрогенизата является самым сложным процессом в производстве стирола, так как температура кипения (136°C) этилбензола (его в сырце около 60%), близка к температуре кипения стирола; кроме того, при повышенной температуре происходит быстрая полимеризация стирола, поэтому ректификацию стирола производят перегонкой в вакууме при пониженной температуре, в колонне специальной конструкции с добавлением ингибитора — гидрохинона.

Полистирол в промышленности получают главным образом свободно-радикальной полимеризацией стирола, используя все известные методы: блочный, эмульсионный, суспензионный и в растворителях. Наибольшее распространение получили методы блочной и эмульсионной полимеризации. Блочный метод полимеризации стирола. Процесс полимеризации стирола в массе (блочный метод) ведется как периодическими, так и непрерывными способами, обычно в две стадии: сначала получают сиропообразный раствор полимера в стироле, содержащий 30—35% полистирола; затем образуется готовый полимер, в котором присутствует 0,5—1% стирола.

Начальная стадия протекает большими массами при энергичном перемешивании и интенсивном отводе тепла, что возможно при низкой вязкости реакционной смеси; на конечной стадии образовавшийся форполимер переводится в формы небольшой емкости, в которых в большей степени возможны контроль и регулировка процесса полимеризации.

По одному из периодических методов блочной полимеризации предварительная стадия осуществляется в реакторе емкостью 2 м^3 , изготовленном из нержавеющей стали и снабженном водяной рубашкой и обратным холодильником. Для сокращения индукционного периода процесса полимеризации

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

стирол нагревают подачей пара в рубашку реактора, а затем создают вакуум до 26 кПа. При таком разрежении стирол кипит при 100—110°C, и экзотермическая реакция протекает при этой температуре, причем часть выделяемого тепла расходуется на испарение мономера, а избыток отводится из реактора с помощью холодной воды, подаваемой в рубашку взамен пара с момента кипения стирола. Процесс предварительной полимеризации продолжается около 4 ч, после чего вязкий форполимер, охлажденный до 70°C, переливают в формы емкостью 20 л, изготовленные из чистого олова или луженой жести. Окончательная полимеризация в формах идет по ступенчатому температурному режиму при 100—115°C и, наконец, при 125—140°C. По окончании процесса формы охлаждают и вскрывают. По другому периодическому способу блочная полимеризация стирола проводится сначала в реакторе из нержавеющей стали емкостью 10 м³ при температуре 80—90°C в присутствии инициаторов. Затем полученный форполимер подают в другой реактор, по конструкции подобный фильтр-прессу и состоящий из алюминиевых рам и нагревательных плит, расположенных между ними. Плиты имеют отверстия для последовательного заполнения всех рам реакционной смесью. Благодаря шлифованным поверхностям плит и рам, а также наличию гидравлического пресса в реакторе создаются герметичные пространства, заполняемые форполимером. Плиты нагреваются горячей водой или паром и охлаждаются холодной водой. Реакция протекает в соответствии с описанным выше ступенчатым режимом, и по окончании полимеризации реактор охлаждают до 40°C. Образовавшиеся блоки полистирола (массой около 80 кг) измельчают в специальных дробилках.

Недостатки, присущие периодическому способу полимеризации стирола в массе, связаны с плохой теплопроводностью и повышенной вязкостью образующегося блока, а также с наличием в блоке трудноудаляемого непрореагировавшего мономера. В связи с экзотермичностью процесса полимеризации стирола внутри блока создаются местные перегревы, приводящие к получению в этих зонах полистирола пониженной молекулярной массы, что

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

увеличивает полидисперсность полимера. При высокой температуре внутри блока происходит деструкция полимера, в результате чего кроме снижения молекулярной массы увеличивается содержание остаточного мономера. Значительное количество последнего заметно ухудшает свойства полистирола, снижая температуру размягчения и устойчивость к старению (особенно при действии солнечного света) [8,9].

1.2.2 Технология: процесс изготовления пенополистирола

В производстве пенополистирола основным материалом вспенивающийся полистирол ПСВ-С в гранулах. Различные бром- и хлорсодержащие органические соединения добавляют в смесь не более пяти процентов для того, чтобы полученный материал обладал повышенной стойкостью к горению.

Изготовление пенополистирола включает в себя несколько этапов: предварительное и вторичное вспенивание, сушка, вылеживание на воздухе, формовка и порезка.

Предварительное вспенивание гранул ПСВ-С производится при помощи обработки насыщенным паром при температуре не ниже 95 градусов. Насыпная плотность должна стать 18-35 кг/м³. В первые секунды в устройстве для вспенивания происходит расширение гранул и резкое падение плотности полистирола с 140 кг/м³ до 60 кг/м³. Процесс наиболее активно длится первые пять минут.

Последующий процесс уменьшения плотности гранул происходит значительно медленнее. По этой причине наиболее оптимальный временной режим для предвспенивателя 5-10 минут. Изменение угла атаки лопаток вспенивателя и скорости подачи сырья позволяет регулировать эту функцию.

Вторичное вспенивание гранул ПСВ-С производится с целью достижения насыпной плотности ниже 15-18 кг/м³.

Сушка предназначена для удаления влаги с поверхности гранул, которая образовывается после вспенивания.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Вылеживание на воздухе требуется для выравнивания атмосферного и внутригранульного давления. Необходимо, чтобы воздух проник внутрь гранул, внутри которых после остывания образуется вакуум.

Этап формовки склеивание гранул в блок определенного размера. В специальную пресс-форму загружается масса на 15-180 сек, где и происходит формовка при помощи обработки паром, давление которого должно быть 0,7-1,5 кг/см. Остывание длится от 7 до 40 минут, после чего готовые блоки извлекаются из пресс-формы. Время остывания зависит от желаемой плотности.

Внутри пресс-форма смазывается специальной обмазкой, состоящей из 25г талька, 25г хозяйственного мыла на один литр воды, кремнийорганической жидкости №5 и мыло хозяйственное. Эта эмульсия оберегает ПСВ-С от прилипания к стенкам.

Заключительный этап производства пенополистирола порезка - необходим для получения листов пенопласта заданных размеров. Для фигурной резки пенопласта используются специальные станки, управляемые компьютером.

В производственном помещении необходимо поддерживать определенный температурный режим не ниже +18 С [5].

На данный момент многие предприятия, которые выпускали полистирол для технологии ЛГМ, закрывают его производство. Это связано, прежде всего, с его небольшой рентабельностью и большими трудозатратами для его производства. Качественный литейный полистирол выпускают в Италии, Канаде и Японии. Все эти предприятия ориентированы на крупных и постоянных потребителей. К примеру, Японский производитель ориентирован на американский рынок. Итальянский производитель поставляет свою продукцию нескольким крупным предприятиям в западной Европе. Канадский производитель имеет свое представительство в Европе, но его продукцией пользуется несколько предприятий.

Отличительными характеристиками литейного полистирола от упаковочного или строительного является наличие лубриканта, который смазывает

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вспененные гранулы и помогает более легкому заполнению формы при получении модели, стабильностью размеров гранул, отсутствием компонентов, которые уменьшают горение полистирола при заливки металла, а соответственно остаток углерода в отливки становится меньше.

Намного легче состоит дело с литейным сополимером (Япония) для Украинских и Российских потребителей. Данное изделие доступно для наших потребителей и значительно повышает качество отливок. Науглераживание материала отливки составляет менее четырех сотых процента. Материал обеспечивает идеальную шероховатость поверхности изделия и снижает затраты на механическую обработку. Данные результаты получены на нескольких предприятиях Украины. Конечно, данный материал ориентирован для получения стальных изделий с низким содержанием углерода. Литейный сополимер - идеальный материал для производства букс, которые используются в железнодорожном транспорте, а также многих других изделий, где процент брака достаточно высок.

Количество жаропрочных покрытий или красок просто пестрит на рынке материалов ЛГМ. Многие предприятия используют отечественные покрытия или производят собственноручно для своих целей, но все же признанным лидером в производстве противопопригарных покрытий остается компания ASK (Германия).

Немаловажным условием для уменьшения содержания углерода в отливках является применение литников с полыми стояками, клея малой зольностью, а также фильтрационных ячеек, исключаящие неметаллические включения и успокаивающие поток металла на выходе и превращающие его в ламинарный поток.

Все данные изделия являются неотъемлемыми составляющими для качественного технологического процесса литья по газифицируемым моделям [7].

1.2.3 Модели ЛГМ. Изготовление моделей ЛГМ

Модели разового применения в литейном деле позволяют получать наиболее точные отливки. Для серийных отливок такие модели изготавливают вдуванием гранул пенополистирола в алюминиевые пресс-формы (многоместные для мелких моделей) с последующим вспениванием и спеканием гранул путем нагрева пресс-форм в течение нескольких минут до $\sim 130^{\circ}\text{C}$. Алюминиевые пресс-формы можно изготавливать точным литьем, но чаще это делается путем механообработки. По пресс-формам можно изготовить тысячи и более пенопластовых моделей.

Для разовых и крупных отливок весом до нескольких тонн модели вырезают из плит пенопласта нагретой нихромовой проволокой по шаблонам или на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ. Затем полистироловую модель склеивают с пенопластовым литником, покрывают быстросохнущей краской с порошком-огнеупором, помещают в контейнер, где засыпают ее сухим песком, и заливают расплавленным металлом через этот литник. При заливке полистирол испаряется, и модель замещается металлом. При этом металл затвердевает в виде отливки в неподвижном песке, который, облекая модель при засыпке песка (формовке), принял форму зеркального отображения этой отливки.

Образующиеся при заливке металла газы из контейнера отсасывают насосом – разрежение поддерживают примерно на уровне 0,5 атм, одновременно это разрежение уплотняет и удерживает в неподвижном состоянии песок в процессе замещения модели металлом. Затем газы через трубу вакуумной системы подают для утилизации и обезвреживания в систему термokatалитического дожигания. Там они окисляются примерно на 98%, и в виде водяного пара и двуокиси углерода выбрасываются в атмосферу за пределами помещения цеха. Традиционные формы со связующим после заливки металлом дымят в помещении, как ни вентилируй рабочую зону цеха, а удаление газов из сухого песка насосом в 10-12 раз снижает показатели загрязнений

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

воздуха рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные формы согласно проведенным измерениям концентраций примесей в воздухе цеха.

Формовочный кварцевый песок после извлечения остывшей отливки из формы благодаря его высокой текучести обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключаящей распыление его в цехе. Примерно треть его поступает в установку терморегенерации, где он освобождается от остатков конденсированных продуктов деструкции пенополистирола, а затем, смешиваясь с остальной частью, после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается опять на формовку. В результате потери оборотного песка не превышают нескольких процентов — это просыпи, уносятся с отсасываемыми газами и т.п.

Значительную часть бункеров, трубопроводов и оборудования комплекса по охлаждению и складированию оборотного песка обычно монтируют за пределами помещения цеха у внешней его стены, при этом сухой песок, который не боится мороза, быстрее охлаждается на открытом воздухе. Изолирование в закрытых трубопроводах потока песка, отсасывание из формы и последующее дожигание газов в сочетании с чистым модельным производством дает возможность создать экологически чистые цеха высокой культуры производства.

Экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается также исключением из него токсичных связующих веществ и большого объема формовочных и стержневых песчаных смесей (обычно от 2 до 4 т отработанной смеси со связующим веществом идет в отвал на 1 т литья), а также их транспортировки и выбивки отливок. Например, 1 куб. м пенополистирола модели весит 25 кг. Если он замещается 7 т жидкого чугуна, то при этом на 1 т литья расходуется $25/7=3,6$ кг полимера. А в формах из смоляных холодно-твердеющих смесей при потреблении 3% связующего вещества на 3 т смеси, которая требуется для 1 т литья, расход связующего полимера составляет $0,03 \times 3000 = 90$ кг, что в $90/3,6 = 25$ раз больше [1].

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Полученная отливка, имеет высокую точность и конкурентный товарный вид. Держа в руках легкую модель, можно увидеть и промерить по всей конфигурации будущую отливку и скорректировать ее возможные огрехи, что при обычной формовке для сложных с несколькими стержнями отливок не сделать. Модель из пенопласта легче отливки из чугуна в $7000/25=280$ раз, возьмешь ее в руки – будто держишь пустоту, которая затем превращается в металл.

Наши литейщики не привыкли к таким технологическим возможностям и такому качеству литья, так как стереотипы, заложенные еще в институтах, тормозят понимание потенциала этой технологии. В ней отсутствует неприятный запах от горелых связующих полимеров, нет заливов по разъему формы (разъемов не имеется) и смещения стержней и форм при сборке, т. к. отсутствуют сами стержни со всеми проблемами их производства и выбивки. Производственные участки — модельный, формовочный, плавильный, очистной имеют примерно одинаковые площади и оснащаются простым оборудованием.

Так как модели помещают в сухом песке в контейнере, стоящем на вибростоле, где песок уплотняют около 1-1,5 минут, то отпадает надобность в высокоточных формовочных машинах прессования и устройствах сборки форм. Акцент перенесен на изготовление легчайших моделей с плотностью материала 25-26 кг/куб. м, которое обычно доверяют женским рукам.

Для серийного производства отливок используются полуавтоматы, цикл производства пенопластовых моделей на которых составляет около трех минут. Они позаимствованы из упаковочной отрасли, где их используют для производства фасонной упаковки, легкой тары, а также декоративных панелей и элементов фасада зданий. Условия труда, подобные условиям упаковочного производства, вытесняют образ старой, задымленной «литейки». Таким способом получают отливки из чугуна и стали всех видов, бронзы, латуни и алюминия всех литейных марок. В ящике на «елке или кусте» могут сразу лить десятки отливок, как в ювелирном производстве, с почти ювелир-

ной точностью. До 90% отливок можно применять без последующей механической обработки.

Описанная технология весьма экономична в сравнении с традиционной. На 1 т литья расходуют 50 кг кварцевого песка, 25 кг противопригарных покрытий, 6 кг пенополистирола и 10 кв. м полиэтиленовой пленки. Низкие затраты на модельно-формовочные материалы позволяют экономить не менее \$100 на 1 т литья, размещение отливок по всему объему контейнера позволяет получать 70-80% годного литья, экономия шихты металла составляет 250-300 кг, электроэнергии — 100-150 кВт.ч, масса отливок снижается на 10-20% по сравнению с традиционной опочной формовкой [10].

Крупная экономия получается при литье сложных отливок из износостойких сталей (траки и детали гусениц, бронефутеровок, корпусные детали) так как резко снижаются затраты на их механообработку. Льют без ограничений на конструкции и конфигурации колеса, звездочки, головки и блоки цилиндров, патрубки бензиновых и дизельных двигателей, коленвалы, и др. Капитальные затраты на организацию и ввод в эксплуатацию производства сокращаются в 2-2,5 раза. Опыт запуска участков производительностью до 50-150 т/месяц показал, что срок их окупаемости не превышал 1,5 года.

Можно размещать такие участки при кузнях, термических и ремонтных цехах. Если создавать или реконструировать «литейку», то литье в моделях из полистирола – тот бизнес, где металл своим оборудованием и рабочей силой переводится в конкурентный товар. Страны, где металл производят из собственных руд путем углубленной его переработки, обретают шанс опередить конкурентов. Сегодня килограмм черного металла (в рядовом прокате, чушках, ломе) стоит в среднем \$0,5, килограмм изделий из металла в автомобиле или танке стоит уже \$50...100, а в самолете — \$1500...2000. Замена экспорта продукции металлургии на экспорт машин и механизмов — это один из шагов перевода сырьевой экономики на высокотехнологичную и усиление роли в глобальном разделении труда, когда экономическая конкуренция все в большей степени определяется конкуренцией научно-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

технической, а разработка и внедрение технологических инноваций — решающий фактор социального и экономического развития, залог экономической безопасности.

Возрастающий поток патентной информации свидетельствует о серьезном интересе к этой технологии всех ведущих машиностроительных компаний. Технологические потоки и пространственное размещение моделей в объеме контейнерной формы удобно предварительно имитировать на ЭВМ, а при изготовлении модельной оснастки все чаще применяют 3D-графику для программирования станков с ЧПУ. Созданы, проектируются и внедряются в производство десятки видов конвейерных цехов, оснащенных манипуляторами и линиями непрерывного действия. Они хорошо зарекомендовали себя в автотракторном моторостроении, при литье трубоарматуры и деталей насосов, корпусов электродвигателей, деталей коммунального машиностроения и др. Однако чаще создаются небольшие производственные цеха, состоящие из модельного, формовочного, плавильного и очистного участков, оснащенных несложным оборудованием, одинаковым для черных и цветных сплавов. По данным на сайте AFS способом ЛГМ (Full Mold Casting and Lost Foam Casting) в 2007 г. в КНР выпущено 0,648 млн. т отливок (86,5% — чугун; 13,0% сталь и 0,5% цветные металлы). Если общий тоннаж литья в КНР за 2007-2011 гг. вырос с 31,3 до 41,26 млн. т, то с учетом таких темпов очевидно, что в настоящее время выпуск отливок способом литья ЛГМ в КНР давно превысил 1 млн. т [2,3].

Большинство крупнейших автопроизводителей Европы, Азии и Америки ежегодно используют в производимых автомобилях несколько сотен тысяч тонн точных отливок, полученных описанным способом. General Motors, Ford Motors, BMW, Fiat, VW, Renault и ряд других фирм полностью перешли в 1980-90 годах на изготовление этим способом отливок блоков цилиндров, головок блока, впускных и выпускных коллекторов, коленвалов для наиболее массовых типов двигателей.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов (ФТИМС) НАН Украины (отдел формообразования под руководством профессора Шинского О. И.) спроектировали оборудование и запустили ряд участков в России и Украине, внедрили такое оборудование в Польше и Вьетнаме. На опытном производстве ФТИМС в Киеве льют черные и цветные металлы развесом 0,1-1500 кг до 50 т/месяц, отрабатывают технологию и оснастку для новых цехов, проектируют оборудование и линии под программу литья и площади цеха заказчика, которые затем поставляют литейным предприятиям с пуско-наладкой всего комплекса оборудования и внедрением технологии в производство.

Производственный потенциал технологии литья ЛГМ далеко не исчерпан. Она также позволяет получать ранее нетехнологичные литые крупнопористые, ячеистые и каркасные отливки, лить не только металлы и сплавы, но и получать композиты и армированные конструкции, которые обладают улучшенными характеристиками. При этом в модель предварительно вставляют различные детали или материалы, которые формируют композит или армированную конструкцию, а наложение газового давления на жидкий металл увеличивает стабильность пропитки таких изделий со вставками на длину до 1 м [10].

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						441
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Определение температуры плавления и температуры деструкции пенополистирола

Литье ЛГМ относят к высокотехнологичным производствам, которые дают выход к устойчивому развитию из технологического отставания, когда в отечественной экономике нарастает сырьевая составляющая, доминирует продукция с низкой добавленной стоимостью и снижается конкурентоспособность производства. Если в 80-е годы в структуре отечественной промышленности и товарного экспорта вес машиностроения составлял порядка 30...40%, а черной металлургии был в два-три раза меньше, то сегодня наоборот. Именно развитие литейного производства – это шаг к восстановлению и росту отечественного машиностроения, превращения страны из продавца полуфабрикатов в экспортера технологической продукции с большой добавленной стоимостью. Снижение зависимости национальной промышленности от импорта идей, технологий и товаров, реализация собственной программы инновационного развития позволит нам стать равноправным участником глобальных инновационных процессов.

Плавление пенополистирола под действием теплоты металла – сложное фазовое превращение вспененного полимера, характеризующееся переходом его из стеклообразного состояния в жидкое. Для полистирола, являющегося основой пенополистирола, температура стеклования близка к 80°С.

Для определения температуры плавления и деструкции были изготовлены образцы размером 26*26*22мм. Образцы изготавливались с помощью нагретой проволоки из плиты пенополистирола. Так же мы определили плотность образцов двумя разными путями: в воде и спирте. Для этого мы взяли три образца размером 10*10*10мм дважды произвели взвешивание каждого, далее определили вытесняемый объем каждого образца в воде и спирте,

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

погружая каждый образец в них. По этим данным с помощью формулы $\rho = \frac{m}{V}$ вычислили плотность нашего образца. Все данные этих опытов представлены в таблице 3, таблице 4 и таблице 5.

Таблица 3 - Масса образцов

№ образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Масса 1	0,0423	0,0572	0,0429
Масса 2	0,0423	0,0572	0,0429

Таблица 4 - Объем вытесняемый образцом, мл

№ образца	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Вода	1,9	2,3	2,0
Спирт	1,8	1,85	2,2

Таблица 5 - Плотность образцов, кг/м³

№ образца	Вода	Спирт
Образец 1	22,26	23,5
Образец 2	22,26	27,67
Образец 3	21,45	19,5

Получив значения плотности каждого образца, делаем усреднение и берем получившееся значение за плотность взятого для опытов пенополистирола. $\rho_{\text{в}} = 22,26 + 22,26 + 21,45 / 3 = 21,99 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{с}} = 23,5 + 27,67 + 19,5 / 3 = 23,55 \text{ кг/м}^3$. Пенополистирол является пористым материалом и так, как поверхность натяжения у воды и спирта разное, поэтому получились разные результаты по плотности. Для дальнейших опытов принимаем полученные результаты измерения в спирте так, как поверхность натяжения у спирта меньше чем у воды, следовательно, спирт лучше заполняет поры образцов.

Установка для определения температуры плавления и деструкции пенополистирола представленная на рисунке 2, состоит из печи сопротивления 1 и нагреваемой на ней стальной плиты 2. Температура поверхности нагреваемой плиты определялась с помощью термопары 3 и терморегулятора 4 (ТРМ-500). Образец помещали на плиту, нагретую до 80⁰С, и продолжали

Technical drawing of a TPM-500 device. The drawing shows a cross-section of the device with various components labeled with numbers 1, 2, 3, and 4. The device has a rectangular body with a central vertical slot. A vertical rod with horizontal markings is positioned above the slot. The device is connected to a power source labeled 'TPM-500' with positive (+) and negative (-) terminals. The components are labeled as follows:

- 1: Points to the top surface of the device body.
- 2: Points to the central vertical slot.
- 3: Points to the vertical rod with horizontal markings.
- 4: Points to the power source labeled 'TPM-500'.

Таблица 6 – Температуры плавления и деструкции пенополистирола.

№	Т _{плавл}	Т _{дистр}	Т _{плавл. ср}	Т _{дистр. ср}
1	116,6	260,5	111,89	261,8
2	117,8	283,9	111,89	261,8
3	111,5	269,4	111,89	261,8
4	113,8	254,1	111,89	261,8
5	103,6	275,4	111,89	261,8
6	105,7	244,3	111,89	261,8
7	117,6	252,8	111,89	261,8
8	111,5	260,3	111,89	261,8
9	112,7	247,7	111,89	261,8
10	108,1	263,9	111,89	261,8

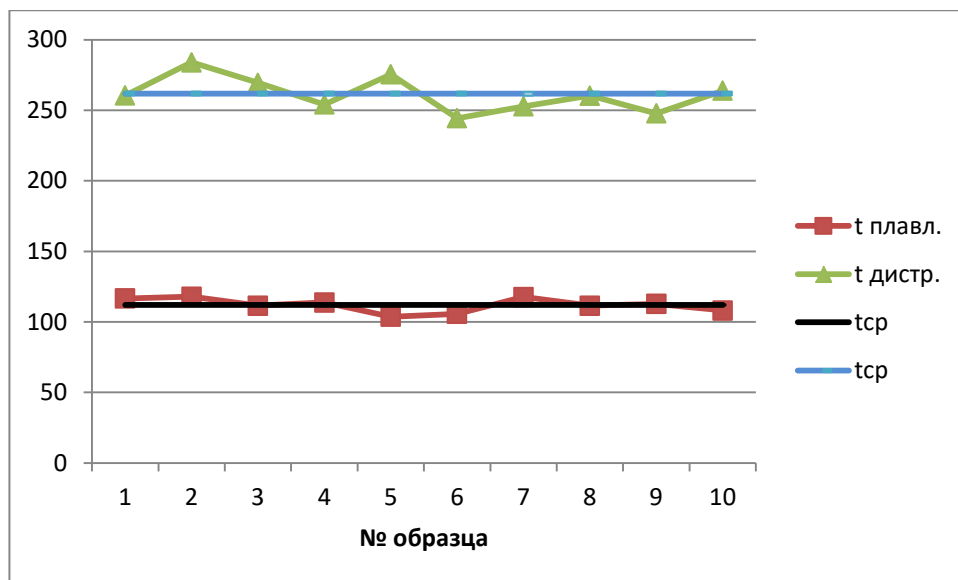


Рисунок 3 - Температуры плавления и деструкции пенополистирола

Проанализировав все заснятые опыты, данные опытов представлены в таблице 6, мы вычислили средние температуры и построили график.

На графике ломаными линиями показаны температуры по данным опытов. Прямыми линиями показаны средние температуры.

По ломаным линиям на графике мы видим, что полученные нами данные имеют погрешность. Это связано с тем, что мы не могли создать идеально одинаковые условия измерения показаний и то, что при определении данных происходило визуально так, как у нас нет таких приборов, что бы определять это автоматически, что было бы гораздо точнее. Согласно теории случайных погрешностей определим погрешности на наши измерения:

1. Находим среднее арифметическое по формуле $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

где n- количество образцов.

x_i – данные результатов измерений.

2. Находим случайные отклонения по формуле $\varepsilon_i = x_i - \bar{x}$.

где \bar{x} - среднее значение опытных данных.

3. Вычислить квадраты случайных отклонений ε_i^2

4. Вычислить значение S по соотношению $S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$

где n- количество образцов.

ε_i^2 – квадрат _случайных _отклонений

5. При n = 10 задать доверительную вероятность $\alpha = 0,95$ и по таблице 7 выбрать значение коэффициента Стьюдента.

6. Найти случайную погрешность среднего арифметического (оценочное значение абсолютной погрешности) по формуле $\Delta x_0 = tS$

где t- коэффициент Стьюдента.

S- среднее квадратичное отклонение.

Таблица 7 - Значение коэффициентов Стьюдента

n	α		n	α	
	0,90	0,95		0,90	0,95
2	6,3	12,7	18	1,7	2,1
3	2,9	4,3	19	1,7	2,1
4	2,4	3,2	20	1,7	2,1
5	2,1	2,8	21	1,7	2,1
6	2,0	2,6	22	1,7	2,1
7	1,9	2,4	23	1,7	2,1
8	1,9	2,4	24	1,7	2,1
9	1,9	2,3	25	1,7	2,1
10	1,8	2,3	26	1,7	2,1
11	1,8	2,2	27	1,7	2,1
12	1,8	2,2	28	1,7	2,0
13	1,8	2,2	29	1,7	2,0
14	1,8	2,2	30	1,7	2,0
15	1,8	2,1	40	1,7	2,0
16	1,8	2,1	60	1,7	2,0
17	1,7	2,1	100	1,7	2,0
			∞	1,6	2,0

Все вычисления по определению погрешности представлены в таблице 8 и таблице 9.

Таблица 8 - Погрешность измерений температуры плавления.

№	t_i	t_{cp}	ε_i	ε_i^2	S	$t_{(a=0,95)}$	$\Delta t_0, ^\circ\text{C}$
1	116,6	111,89	4,71	22,1841	1,498118	2,3	3,445672
2	117,8		5,91	34,9281			
3	111,5		-0,39	0,1521			
4	113,8		1,91	3,6481			
5	103,6		-8,29	68,7241			
6	105,7		-6,19	38,3161			
7	117,6		5,71	32,6041			
8	111,5		-0,39	0,1521			
9	112,7		0,81	0,6561			
10	108,1		-3,79	14,3641			

Таблица 9 - Погрешность измерений температуры деструкции.

№	t_i	t_{cp}	ε_i	ε_i^2	S	$t_{(a=0,95)}$	$\Delta t_0, ^\circ\text{C}$
1	260,5	261,23	-0,73	0,5329	9,594312	2,3	22,06692
2	283,9		22,67	513,9289			
3	269,4		8,17	66,7489			
4	254,1		-7,13	50,8369			
5	275,4		14,17	200,7889			
6	244,3		-16,93	286,6249			
7	252,8		-8,43	71,0649			
8	260,3		-0,93	0,8649			
9	247,7		-13,53	183,0609			
10	263,9		2,67	7,1289			

Выбрав из опытов данные по температурам и вычислив погрешности, мы можем сказать что температура плавления пенополистирола марки ПС-Б-25 равняется $111,89 \pm 3,5^\circ\text{C}$, а температура деструкции равняется $261,8 \pm 22,06^\circ\text{C}$.

2.2 Определение скорости плавления пенополистирола

Скорость плавления пенополистирола определяют по времени плавления образца известной длины, помещенного на нагретый до заданной температуры нагреватель, от момента контакта образца с нагревателем и до

полной потери исходного состояния. Исследованиями установлено что, при заполнении формы металлом модель обычно плавится последовательно, нагреваясь с одной из поверхностей. Поэтому принятый метод моделирует процесс плавления модели в форме при заполнении ее металлом.

Для определения скорости плавления пенополистирола изготавливаются образцы размером 15×15×200 мм. Образцы вырезают нагретой проволокой из плиты пенополистирола или изготавливают в пресс-формах по принятым режимам предварительного вспенивания и окончательного формования, если испытание проводится для случая изготовления моделей из гранул в пресс-формах.

Установка для определения скорости плавления (рис. 3) пенополистирола состоит из печи 1 и нагреваемого в ней массивного металлического блока 2. Температура поверхности блока измеряется установленной в него термопарой 3 и терморегулятором ТРМ-500 (4). Образец 5 закрепляют на заостренном конце металлического штока 6 и помещают в кварцевую трубку 7. Перед испытанием металлический блок разогревают до заданной температуры, кварцевую трубку закрепляют на штативе 9. Образец отпускают до соприкосновения с блоком. Перемещение образца фиксируется датчиком 8 и регистрируется осциллографом 10. При проведении испытаний при высоких температурах внутрь трубки под небольшим давлением подают инертный газ для предотвращения горения образца. Скорость плавления вычисляют по формуле

$$v_{пл} = \frac{l_{об}}{\tau_{пл}},$$

где $l_{об}$ - длина образца;

$\tau_{пл}$ - время плавления образца.

энергии металла, непосредственно с ним не контактируя. При этом существенную роль в процессах теплообмена между зеркалом металла и поверхностью плавления образца играет степень черноты ее полного нормального излучения. Для сравнительной оценки этой характеристики пенополистирола в зависимости от различных факторов использовали приближенный метод, основанный на принципе, предложенном Д. Т. Кокоревым. Установка представляет собой нагревательную печь с массивным металлическим блоком из окалиностойкой стали. В поверхность блока зачеканена термопара, показания которой фиксируются гальванометром. Внутри шамотной трубки устанавливают образец пенополистирола с заделанной на определенной глубине термопарой, показания которой записываются самописцем типа НЗ-73. По записи показаний термопары фиксируется время прохождения фронтом плавления плоскости расположения термопары в образце испытуемого материала. В каждом опыте точно фиксируется температура металлического блока, которая находится в пределах 900-1000 °С, расстояние от поверхности излучателя до облучаемого образца, глубина расположения спая термопары в образце. Степень черноты полного нормального излучения поверхности плавления пенополистирола определяется сравнением количества теплоты поглощенной образцом ($Q_{обр}$) и переданной излучением ($Q_{изл}$).

$$Q_{обр} = \frac{G_{л}}{\tau_{пл}} (c_{мод} (t_2 - t_1) + r),$$

где $G_{л}$ – масса расплавившегося слоя образца;

$c_{мод}$ – теплоемкость пенополистирола;

r – теплота плавления пенополистирола;

t_1 – начальная температура;

t_2 – температура плавления пенополистирола;

$\tau_{пл}$ – время плавления слоя образца, которое определяется экспериментально из опыта.

$$Q_{изл} = 4,9 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varphi_{12} \cdot \left(\frac{T_u}{100} \right)^4 \cdot F_{2n},$$

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

где ε_2 – степень черноты поверхности плавления, которую необходимо определить;

φ_{12} – взаимный коэффициент облученности поверхности пенополистирола и расплава;

$T_{\text{и}}$ – температура излучателя;

$F_{2\text{п}}$ – площадь облучаемой поверхности пенополистиролового образца.

Исследования показали, что значение степени черноты поверхности плавления для блочного пенополистирола и литейного пенополистирола находятся в пределах 0,22 – 0,34 и мало изменяются в зависимости от плотности пенополистирола.

Алюминиевый расплав в установке имитирует стальная пластина 1, нагревание которой до заданной температуры производилось установленным под ней электрическим нагревателем 2, который через блок управления 3 соединяется с источником питания напряжением 220 В. Для контроля температуры стальной пластины в нее зачеканена термопара ХА 4. Стальная пластина и нагреватель находятся в корпусе печи 5. Во избежание потерь тепла и нагрева корпуса печи он снабжен теплоизоляцией. В верхней части стальной пластины сделана проточка, в которую вставляется кварцевый цилиндр 6 с толщиной стенки 4 мм, в котором происходит плавление пенополистиролового образца 7 определенной массы. Давление расплавленного металла имитировалось специальным грузом 8, помещенным поверх пенополистиролового образца. Наглядный пример установки изображен на рисунке 4.

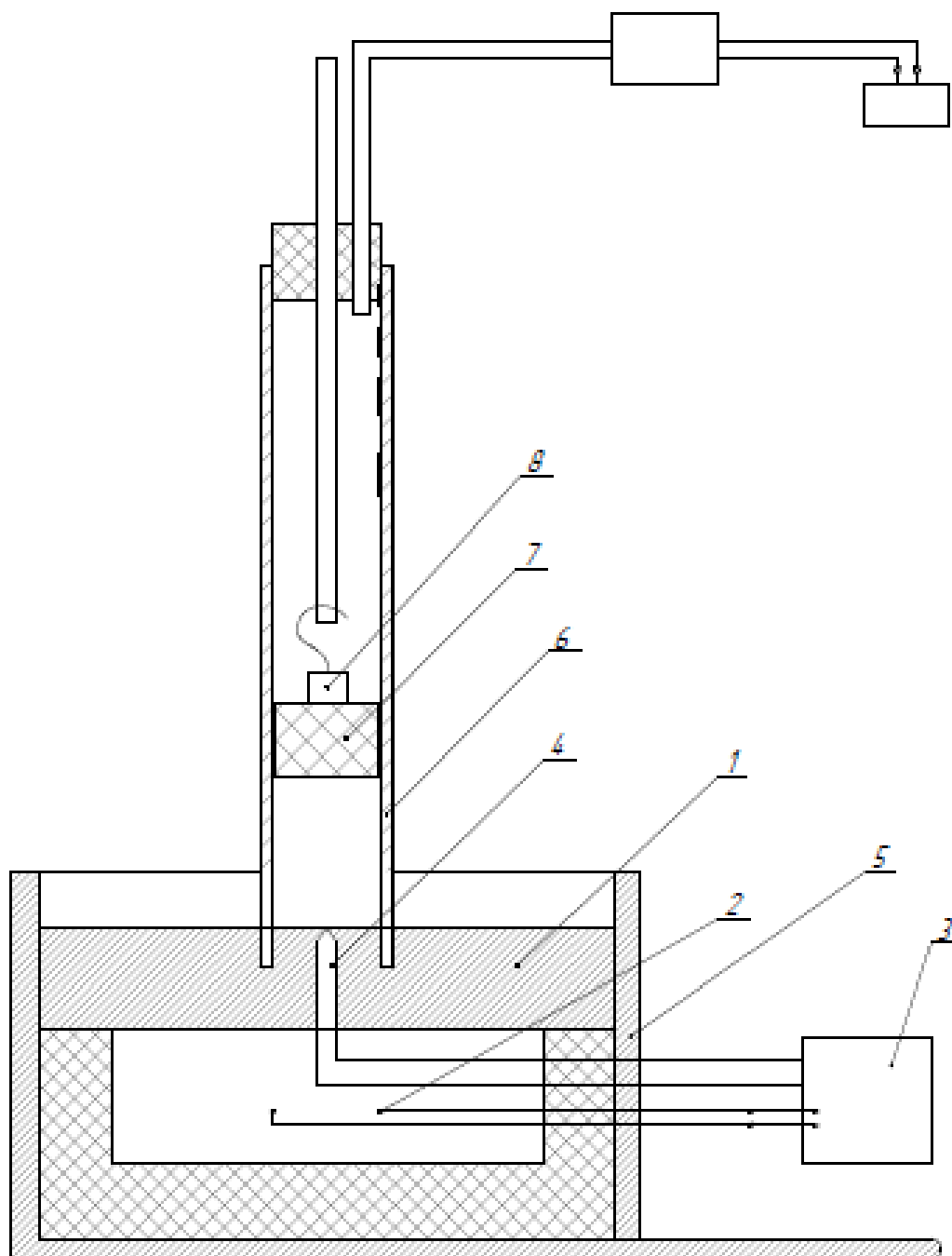


Рисунок 4 – Установка для определения скорости плавления

Исследования проводились следующим образом.

Образцы вырезаются из плиты пенополистирола тонкой трубой внутренним диаметром 50 мм. Каждый образец зачищается от заусенцев шкуркой и подгоняются под диаметр кварцевой трубки, после чего образец

взвешивается. Стальная пластина разогревается до нужной температуры, которая поддерживается регулятором на одном уровне. На пластину устанавливается кварцевый цилиндр, в который опускается образец, придавливаемый сверху грузом. Время плавления образца засекается либо секундомером, либо электросекундомером.

Эксперимент проводился при температурах 400, 500, 600 и 700°C при массе груза 77,5 гр.

Таблица 10 – Скорость плавления пенополистирола

№	Температура печи, °C	Масса образца, г.	Время плавления, сек	Скорость плавления, г/сек
1	2	3	4	5
1	400	1,64295	25,8	0,0637
2		1,54720	22,4	0,0691
3		1,50340	23,4	0,0642
4		1,59210	26,0	0,0612
5		1,58560	21,2	0,0748
6		1,44765	25,6	0,0565
7		1,62440	22,8	0,0712
8		1,61690	22,4	0,0722
9		1,56340	20,0	0,0782
1	500	1,32340	9,0	0,1470
2		1,40965	9,0	0,1566
3		1,41685	9,2	0,1540
4		1,44770	10,0	0,1448
5		1,42095	11,2	0,1269
6		1,42840	11,0	0,1299
7		1,44745	10,8	0,1240
8		1,34700	10,2	0,1321
9		1,42140	11,0	0,1292
10		1,36370	10,4	0,1311

1	2	3	4	5
1	600	1,69095	8,4	0,2013
2		1,4535	5,6	0,2597
3		1,29670	7,2	0,1801
4		1,34855	6,6	0,2043
5		1,48445	6,8	0,2183
6		1,43230	7,2	0,1989
7		1,39665	6,4	0,2182
8		1,48975	6,4	0,2328
9		1,44290	6,6	0,2186
10		1,51255	8,2	0,1845
1	700	1,432275	4,0	0,3582
2		1,42545	5,8	0,2458
3		1,44720	4,2	0,3446
4		1,28490	4,0	0,3212
5		1,48750	5,0	0,2975
6		1,44860	4,8	0,3018
7		1,35870	4,0	0,3397
8		1,41515	5,4	0,2621
9		1,46480	5,0	0,2930
10		1,44075	4,8	0,3002

Таким образом, получив скорости плавления, найдем среднюю для каждой температуры: при температуре 400°С средняя скорость плавления составила 0,0679 г/сек; при температуре 500°С средняя скорость плавления составила 0,1376 г/сек; при температуре 600°С средняя скорость плавления составила 0,2117 г/сек; при температуре 700°С средняя скорость плавления составила 0,3064 г/сек. Проведя все исследования и получив скорости плавления мы можем сказать что, при увеличении температуры увеличивается и скорость плавления.

3. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ, РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В методической части дипломного проекта были разработаны методические указания для лабораторной работы для студентов образовательной программы бакалавриата, направления подготовки 44.03.04 профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Металлургия», профилизация «Технологии и менеджмент в металлургических образцах». Входящий в модуль М6, модуль профилизации. Дисциплина: Прогрессивные методы литья. Всего часов: 144; аудиторных 60; лекции 28; практические занятия 18; лабораторные работы 16.

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ГАЗОВ ПРИ ДЕСТРУКЦИИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕСТРУКЦИИ

Краткие теоретические сведения: Литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) является одним из новейших способов производства отливок, появившихся в результате научно технологической революции во второй половине XX в.

Одним из важнейших технологических параметров для получения качественных отливок методом литья по ЛГМ является объем выделяемых газов при сгорании модели. Данная лабораторная работа знакомит с методикой определения объема этих газов и параллельно с этим определяет температуру деструкции.

При деструкции пенополистирола выделяются следующие газы: H_2 (водород) – легкий бесцветный газ, нетоксичен и не взрывоопасен в малых количествах; CO (угарный газ) – бесцветный газ, без запаха, со слегка кисловатым вкусом; CH_4 (метан) – простейший углеводород, бесцветный газ, без запаха. Метан одновременно и взрывоопасен, и потенциально ядовит для че-

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

ловека, но в количестве 2,19% не причиняет человеку вреда; C_2H_4 (этилен) – бесцветный горючий газ со слабым запахом. Этилен обладает наркотическим действием, класс опасности – четвертый; C_2H_6 (этан) – по сравнению с метаном он взрывоопасен и мало токсичен. Класс опасности – четвертый; C_2H_2 (ацетилен) – бесцветный газ, легче воздуха, взрывоопасное вещество при температуре свыше $500^{\circ}C$, взрывоопасность уменьшается при разбавлении его другими газами (азот, метан и пропан); C_5H_{12} (пентан) – обладает наркотическим действием, но в малых количествах не опасен. Класс опасности – четвертый; C_6H_6 (бензол) – при непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, поэтому порядок работ с бензолом не регламентирован. В больших количествах вызывает тошноту и головокружение, а в особо тяжких случаях смертельный исход; C_7H_8 (толуол) – бесцветная подвижная летучая жидкость, с резкими запахом. Является сильным токсичным ядом; C_8H_8 (стирол) – токсичен, класс опасности – третий.

Цель работы: изучить особенности такого технологического параметра при литье по газифицируемым моделям, как выделяемых газов и определить объем выделяемых газов и температуру деструкции пенополистирола.

Оборудование, инструменты и материалы: Штатив с держателем, термостойкая колба, пробка для колбы с подведенным к ней манометром и терморегулятора с термопарой, спиртовка, манометр, термопара, терморегулятор ТРМ-500 и 10 образцов одинаковым размером.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Сухая перегонка пенополистирола позволяет пронаблюдать деструкцию последних. Работа выполняется в вытяжном шкафу. Сухую перегонку производят в приборе, состоящем из прозрачного сосуда, где производят нагревание пенополистирола (этот сосуд закреплен в лапках штатива). Сосуд при

					44.03.04.012ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

помощи газоотводной трубки соединяют с манометром. Так же в объем сосуда помещаем термопару. Назначение манометра – определение давления с под которым все выделяемые газы от образца действуют на него. Так же визуально определяем температуру деструкции (при первом проявлении выделения газов фиксируем температуру на приборе).

Порядок выполнения работы

1. В сосуд для сухой перегонки кладем образец пенополистирола, сосуд плотно закрываем крышкой, к которой подведен манометр.

2. Производим нагревание сосуда с образцом на спиртовке. При этом, если прибор герметичен, манометр начнет увеличивать значение давления в системе сосуд-манометр до полного сгорания образца.

3. После определения давления находим объем выделившихся газов. При температуре 700°C пенополистирол выделяет два основных газа: метан CH_4 и углеводород C_7H_8 .

4. Определяем объем газов по формуле Клапейрона — Менделеева:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T,$$

где P- давление, Па

M- молярный объем, г/моль

R- универсальная газовая постоянная, $R=8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}$

T- абсолютная температура, K

4. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Описание установки.
5. Расчет объема выделяемых газов.
6. Основные выводы по работе.

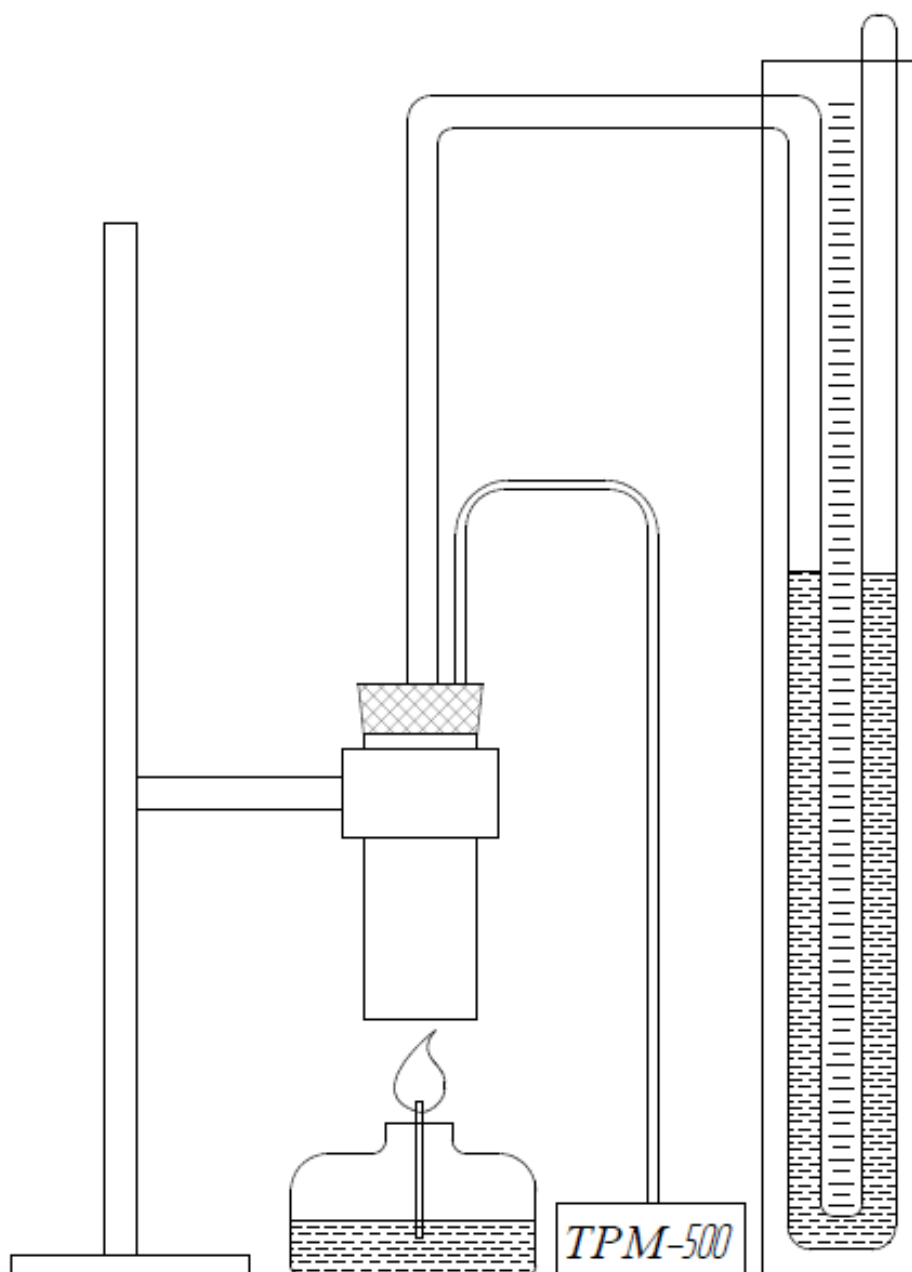


Рисунок 5 – установка для определения объема выделяемых газов
 1 - штатив с держателем, 2 – термостойкая колба, 3 – пробка с манометром и термопарой,
 4 – спиртовка, 5 – манометр, 6 – термопара, 7 – терморегулятор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровин Н.В. Курс общей химии. – М.: Высшая школа, 2001. – С. 450-466.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте было проведено исследование температуры плавления, температуры деструкции пенополистирола и скорости плавления пенополистирола. Это одни из важнейших параметров при литье по выжигаемым моделям.

Исследования температур были проведены на примере блочного полистирола марки ПС-Б-25. Проанализировав проведенные опыты, мы определили плотность данного полистирола, определили температуры плавления и деструкции, так же мы вычислили погрешности наших измерений. В конечном результате получилось что исследуемый пенополистирол имеет: плотность $\rho = 23,55 \text{ кг/м}^3$; температуру плавления $t_{\text{пл}} = 111,89 \pm 3,5^\circ\text{C}$; температуру деструкции $t_{\text{дистр}} = 261,8 \pm 22,06^\circ\text{C}$. При исследовании скорости плавления и обработав данные можем сказать что при увеличении температуры растет скорость плавления пенополистирола

В методической части дипломного проекта была разработана методика выполнения лабораторной работы на тему «Определение объема газов при деструкции пенополистирола и определение температуры деструкции», для студентов образовательной программы бакалавриата, направления подготовки 44.03.04 профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Металлургия», профилизация «Технологии и менеджмент в металлургических образцах». Входящий в модуль М6, модуль профилизации. Предмет: Прогрессивные методы литья. Всего часов: 144; аудиторных 60; лекции 28; практические занятия 18; лабораторные работы 16.

Таким образом мы достигли поставленных целей и задач дипломного проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям [Текст] / В.С. Шуляк. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 406 с.
2. Павлов В.А. Пенополистирол [Текст] / В.А. Павлов. М.: «Химия», 1973. 240 с.
3. Степанов Ю. А., Анучина М. Г., Кирпиченко В. П.. Формирование отливки при литье по газифицируемым моделям // Литейное производство. 1967. № 9.
4. Специальные способы литья / Под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – С. 169–171
5. Специальные способы литья: учебник / Б.С. Чуркин [и др.]; под редакцией Б.С. Чуркина Екатеринбург : Издательство Рос. гос. проф.-пед. унта, 2010 . 731 с.
6. Озеров В. А., Шуляк В. С., Плотников Г. А. Литье по моделям из пенополистирола. М.: Машиностроение, 1970.
7. Конспект лекций по дисциплине «Специальные методы литья» / Авт. Зборщик А.М. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2007. – 158 с.
8. УДК 681-581. Литье по выжигаемым моделям: Учебное пособие для студентов специальности 110400 литейное производство черных и цветных металлов // Сост. В.М. Григорьев. — Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. унта, 2002.
9. Выбор составов для покрытия поверхности литейных форм, стержней или моделей. Знаменский Л. Г., Варламов А. С. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (национальный исследовательский университет) (ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" (НИУ)).
10. Методические указания. Высокомолекулярные соединения и их

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

применение в строительстве. Составители: И.Е. Матин, И.В. Власенко. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет», 2011.

11. Категоренко Ю.И., Ведерников М.В., Дубинин С.С., Елисеева Я.Д. Экологические особенности литья по газифицируемым моделям [Текст] / Ю.И. Категоренко // Прогрессивные технологии и процессы: Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научно-практической конференции (22-23 сентября 2016г.), Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2016. – С.104-108.

					44.03.04.012ПЗ	Лист
						661
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		